

内湾域における底泥の栄養塩溶出および酸素消費に関する現地調査と室内実験

THE FIELD INVESTIGATION AND LABORATORY EXPERIMENTS OF SEDIMENT NUTRIENT RELEASE AND SEDIMENT OXYGEN CONSUMPTION IN ENCLOSED COASTAL WATERS

小川大介¹・村上和男²・大宮将司³・片倉徳男⁴

Daisuke OGAWA, Kazuo MURAKAMI, Masashi OHMIYA, Norio KATAKURA

¹ 学生会員 武蔵工業大学大学院 工学研究科都市基盤工学専攻(〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

² フェロー会員 工博 武蔵工業大学教授 都市工学科(〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

³ オルガノ株式会社(〒136-0075 東京都江東区新砂 1-2-8)

⁴ 正会員 大成建設株式会社 技術センター(〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

In this study, we investigated the influence of sediment nutrient release and sediment oxygen consumption for the redeposition of suspended sediments from the sand capped sediments. It examined by the experiment of nutrient release and the sediment oxygen consumption in Tokyo Port Wild Bird Park and Minatomirai area of Yokohama Bay. From the study in Tokyo Port Wild Bird Park and Yokohama Bay, we found following results.

There is the good relationship between the sediment quality, nutrient release and oxygen consumption rate. It became cleared that the durability of the sand capping effect, to improve the sediment, and equilateral correlation of sediment quality and sediment oxygen consumption.

Key Words: Hypoxia, sediment, nutrient, oxygen consumption, sand capping

1. はじめに

東京湾などの内湾域・湖沼等で閉鎖性の高い水域においては、水質汚濁が問題視されている。近年これらは改善されつつあるものの、依然として赤潮・青潮による悪臭や周辺水域の魚介類・生態環境などへの被害が報告されている。青潮の発生には夏の貧酸素水塊の形成が原因の一つとして挙げられる。貧酸素水塊とは、内湾域・湖沼等の閉鎖性の高い水域において魚介類が生息できないほどに水中の溶存酸素濃度が著しく低下した状態を言う。東京湾では毎年数回、夏に発生した貧酸素水塊が、夏の終わりから秋口にかけて吹く北寄りの季節風の影響で、湾奥部の千葉県付近で湧昇し、青潮が発生する。それにより、生態系への影響や周辺地域への悪臭などが問題となっている。図1に貧酸素水塊が発生するメカニズムを示す。

貧酸素水塊は、汚染された底泥（ヘドロ）に含まれている有機物が分解される際に酸素が消費される他、水中に含まれている有機物の分解による酸素消費や、太陽からの熱で表層付近の海水が温められることで発生する水温躍層、河川からの淡水流入により塩分濃度

に差が生じることで発生する密度成層により底層への酸素供給が絶たれる事等が原因で発生する。さらに、この貧酸素水塊形成を原因の一つとして、底泥から無機窒素・リンなどの栄養塩の溶出が増大し、周辺海域へさらなる悪影響を及ぼすことが考えられる。

この底泥による酸素消費および底泥からの栄養塩溶出を防ぐ対策として取られているものとして、覆砂工法がある。覆砂工法とは、底泥を良質な砂で覆うことで、底質環境を改善¹⁾するものである。この事業は、福岡県の荏田港、愛知県の三河湾などで実施されており、三河湾では溶出実験も行われ、底質改善の効果が検証²⁾されている。覆砂工法は、底泥をそのまま掘り出す浚渫工法に比べて工事費が抑えられることから、注目されている工法である。

本研究での調査の対象となっている横浜港においても、横浜市のシーブルー事業によって、平成6年から5年間にわたりみなとみらい地区に覆砂工事が行われ、水質・底質改善、魚類などの生態系の改善など、様々な成果をあげている。

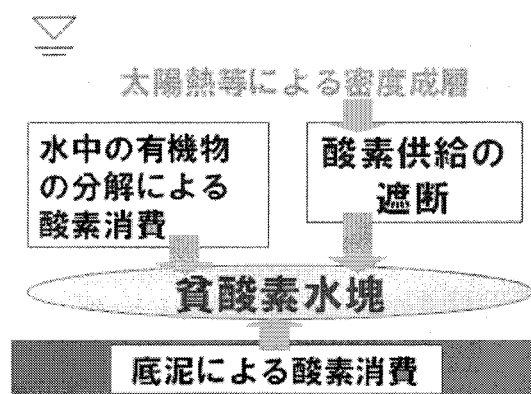


図1 貧酸素水塊発生メカニズム

しかし、時間の経過と共に覆砂の上に浮泥が再び堆積してしまい、再び底質が汚染されてしまう、という懸念がある。本研究では、底泥の水質に及ぼす影響と、覆砂による底質改善効果の持続性を検討するうえで、浮泥の再沈降・堆積が水域の水質にどのような影響を及ぼすかを、横浜港において実際に行われている覆砂地点の現地調査・栄養塩溶出試験・酸素消費試験により検討し、さらに東京港野鳥公園など、閉鎖性の高い区域から採取した泥についても実験を行い、底質の違いによる周辺海域への影響を検討する事を目的とする。

2. 現地調査

(1) 調査地点の概要

調査地点は、横浜港みなとみらい地区および東京港野鳥公園の潮入りの池付近である。

横浜港は、東京湾の北西側に位置し、風向、風力、潮流、水深等最適な条件に恵まれた天然の良港である。しかし、水質汚濁が問題になってからは、毎年夏には毎日のように赤潮が発生し、問題となっている。調査地点であるみなとみらい地区は、横浜港の新港地区にあり、底質の汚濁が問題となっていたが、横浜市のシーブルー事業により、平成6年から平成10年にかけて、覆砂工事が行われた。横浜港における調査地点の詳細図を図2に示す。

東京港野鳥公園は、東京都大田区の東部に位置し、東京都中央卸売市場や羽田空港が隣接している。東京港野鳥公園における調査地点の詳細図を図3に示す。内海の対象地点の潮入りの池は、人工干潟であり、外海との海水交換は、幅3mほどの2本の水路のみによって行われる、閉鎖性の高い干潟である。また、外海も湾奥部に位置し、ほとんど海水交換は行われない海域であり、閉鎖性が高くなっている。

(2) 現地調査内容および水質(DO)調査結果

横浜港における現地調査は、2007年12月13日に

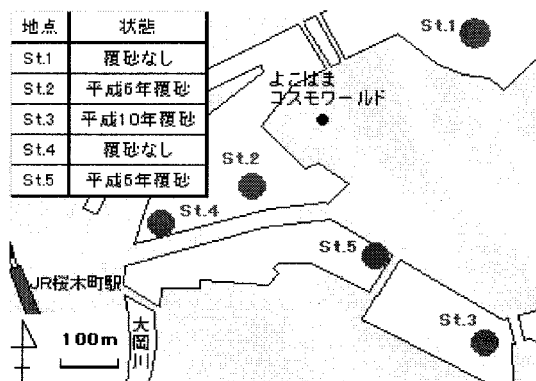


図2 横浜港における調査地点図

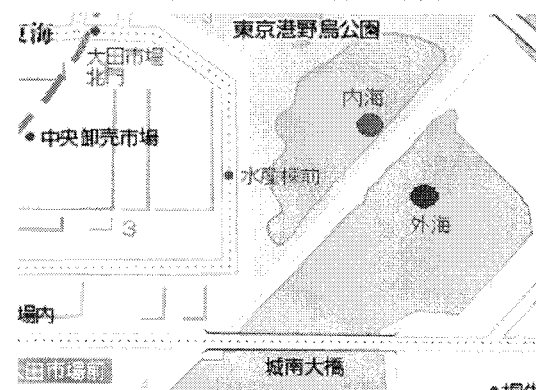


図3 東京港野鳥公園における調査地点図(出典:yahoo!地図)

St.1~5の計5地点で行った。調査では、水質調査(クロロテック水質計を使用)・採水・柱状採泥($\phi=10\text{cm}$, $L=150\text{cm}$ および $\phi=20\text{cm}$, $L=50\text{cm}$ のアクリルパイプを使用)・底泥採取(エクマンバージ型採泥器を使用)および沈降物捕集装置(セジメントトラップ)の設置を行った。また、設置したセジメントトラップは、一週間後の12月20日に回収した。各地点における調査の実施状況を以下の表1に示す。

なお、St.1~St.3においては2006年8月28日にも現地調査を行っており、その際の調査項目は、表1におけるSt.1~St.3と同様の内容である。

表1 各地点における現地調査実施状況

調査名	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
水質調査	○	○	○	○	○
採水	○	○	○		
柱状採泥($\phi=10\text{cm}$, $L=150\text{cm}$)	○	○	○		
柱状採泥($\phi=20\text{cm}$, $L=50\text{cm}$)	○	○	○		
底泥採取	○	○	○		
セジメントトラップ設置		○	○	○	○

東京港野鳥公園における現地調査は2007年8月26日、27日に、内海・外海の2地点で行った。調査では採水および底泥採取(内海ではスコップ、外海では船

上からエクマンバージ型採泥器を使用)を行った。

横浜港における DO 鉛直分布調査結果を以下の図4に示す。各調査地点において、貧酸素水塊の形成は見られない。また、St.1~St.3 における 2006 年夏期(8月)の DO 鉛直分布調査結果を図5に示す。St.1 では、水深 7.0m 以深で貧酸素水塊が発生していることが分かる。これにより、この地点で夏に発生した貧酸素水塊は冬に解消されることが言える。なお、本研究における貧酸素水塊の定義は DO 値 2.0mg/L 未満とする。

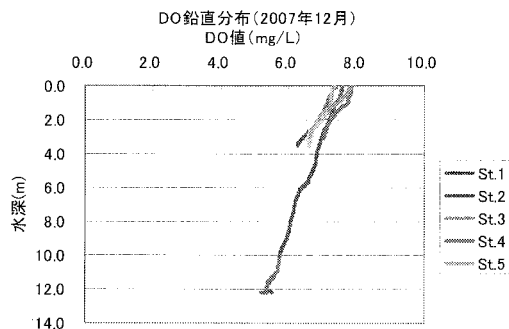


図4 DO 鉛直分布(2007 年 12 月)

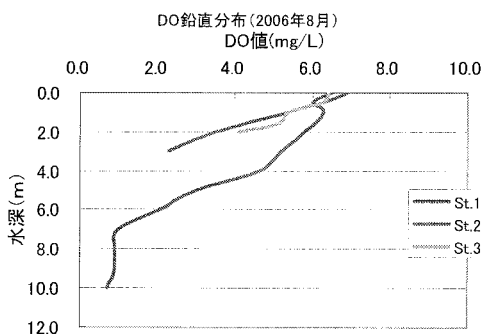


図5 DO 鉛直分布(2006 年 8 月)

3. 栄養塩溶出試験

(1) 試験方法³⁾⁴⁾

栄養塩溶出試験用使用するサンプルは現地調査の際に不攪乱柱状採泥により採取したものを使用した。使用器具はアクリルパイプ($\phi=20\text{cm}$, $L=50\text{cm}$)、恒温水槽、攪拌機、水温調節器、エアーポンプである。試験は、潜水士がアクリルパイプを海底に突き刺してサンプルを採取し、そのまま研究室に持ち帰り、泥の高さを 25cm に調節した後、泥の上に現場直上水を静かに流し込み、恒温水槽にて試験を行う擬似現場法(コア法)により行った。また、DO の季節変化による栄養塩溶出を再現するために、空気曝気による好気条件

と窒素曝気による嫌気条件の 2 つの条件にて試験を行った。なお、温度条件は設備の都合上、好気・嫌気共に 25℃で行った。試験装置の概要図を以下の図6に示

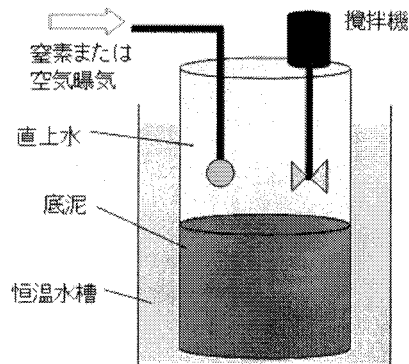


図6 栄養塩溶出試験概要図

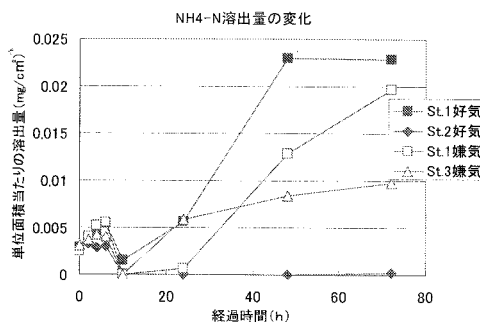
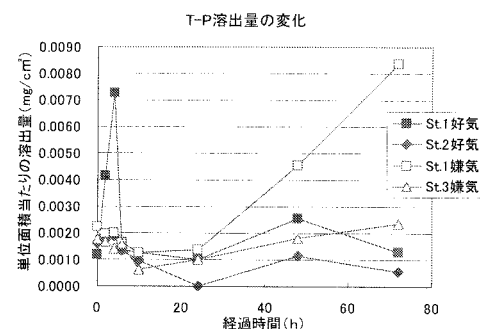
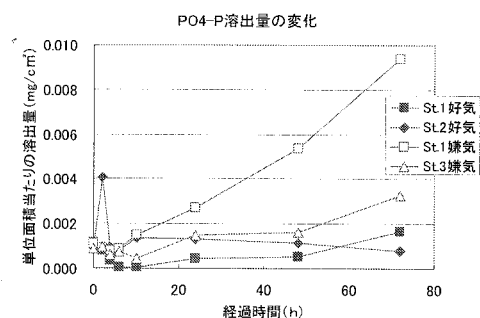


図7 栄養塩濃度の経時変化

す。試験は 2007 年 12 月 13 日 19:30 から 72 時間連続で行い、試験開始から 0,2,4,6,10,24,48,72 時間後の計 8 回採水し、栄養塩分析を行った。

(2) 試験結果

試験中に採水したサンプルは、全窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、全リン、リン酸態リンの6項目において化学分析を行い、吸光光度法により濃度を求めた。経時変化に伴う栄養塩の単位面積当たりの溶出量の変化を、図7に示す。

グラフより、覆砂を行っていないSt.1では、他の地点よりも栄養塩が多く溶出していることが分かる。このデータに関しては、2006年度の調査においても同様の結果が得られている。なお、St.3好気、St.2嫌気のデータに関しては、栄養塩濃度が異常に高い数値となったため、今解析では、これらのデータは除いたものを使用している。

4. 酸素消費試験

(1) 試験方法

東京港野鳥公園における内海・外海の2地点で採取した底泥、および横浜港みなとみらい地区におけるSt.1～St.3の3地点でエクマンバージにより採取した底泥を使用して、底泥の酸素消費速度を求めるための酸素消費試験を行った。使用器具はアクリルパイプ(φ=10cm, L=19.5cm)およびゴム栓である。試験体は1地点あたり底泥試験体6本と、現場海水のみのコントロール試験体6本の計12本で行った。試験条件は、生物活性を抑えるために暗条件で行い、ゴム栓で完全密封とした。また、採取した底泥は、1地点ごとによく攪拌した上で試験に使用した。通常試験体の底泥厚さはおよそ3cmとした。試験装置の概略図を図8に示す。東京港野鳥公園で採取したサンプルについては、2007年9月4日13:00から6時間、横浜港みなとみらい地区で採取したサンプルについては2007年12月15日13:30から6時間連続で試験を行った。DO測定では、YSI水質計による機械測定を行った。なお、試験装置であるアクリルパイプとゴム栓の酸素

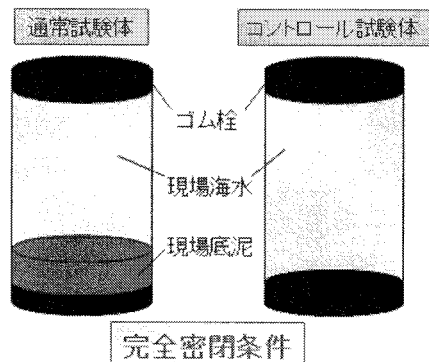


図8 酸素消費試験装置概略図

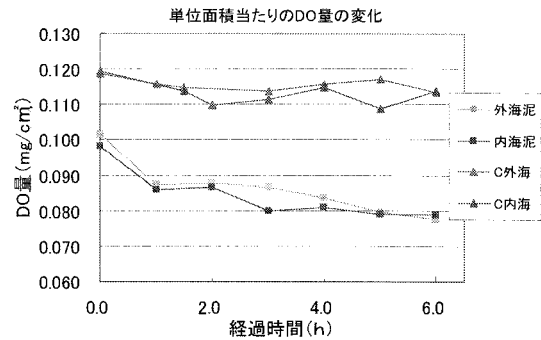


図9 東京港野鳥公園における酸素消費試験結果

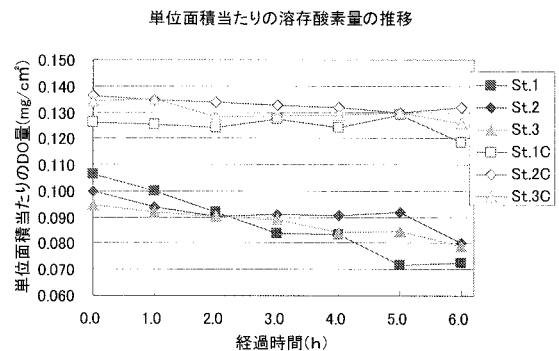


図10 横浜港みなとみらい地区における酸素消費試験結果

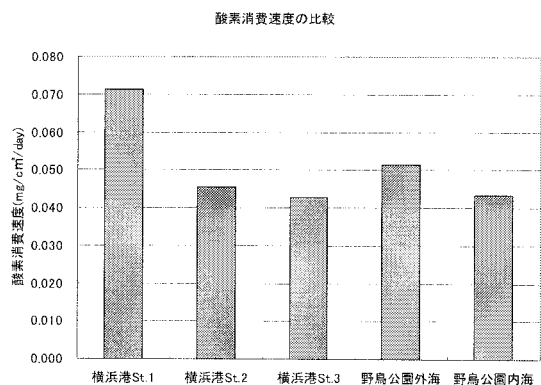


図11 各地点における酸素消費速度の比較

消費による試験への影響は、事前試験によりほとんどないことを確認している。

(2) 試験結果

図9に、東京港野鳥公園における酸素消費試験の結果を、図10に、横浜港みなとみらい地区における酸素消費試験の結果を示す。ただしグラフ中のCはコントロール試験体を指す。コントロールのグラフの傾きがほとんど水平であることから、酸素消費は海水によるものではなく、底泥によって行われていることが分かる。

また、東京港野鳥公園では外海において、横浜港みなとみらい地区ではSt.1において最も酸素を消費し

ていることが分かる。いずれの地点も覆砂を行っていないためシルト分が多く、底泥からは強い硫化水素臭がする地点であった。図 11 に東京港野鳥公園泥と横浜港泥における酸素消費速度の比較を示す。全体で見ると、横浜港 St. 1 の酸素消費速度が最も高くなっている。また、St. 2 および St. 3 では酸素消費速度の値は比較的小さくなっていることから、覆砂の効果が現われていることが言える。

また表 2 に各地点における含水比と強熱減量の比較を、図 12 に、各調査地点における酸素消費速度と強熱減量の関係を示す。表より、含水比、強熱減量共に、横浜港 St. 1 の値が最も高く、次いで東京港野鳥公園外海の値が高くなっており、汚染された底泥であることが分かる。また、グラフより、強熱減量が高くなるにつれて酸素消費速度の値も高くなっており、相関係数も $R^2 = 0.868$ と高く、汚染された泥ほど酸素消費量が大きいことが分かる。

表 2 各地点における含水比と強熱減量の比較

	含水比(%)	強熱減量(%)
横浜港 St.1	260.22	11.12
横浜港 St.2	43.03	3.31
横浜港 St.3	58.72	2.61
野鳥公園干潟内	42.95	3.69
野鳥公園干潟外	184.88	8.25

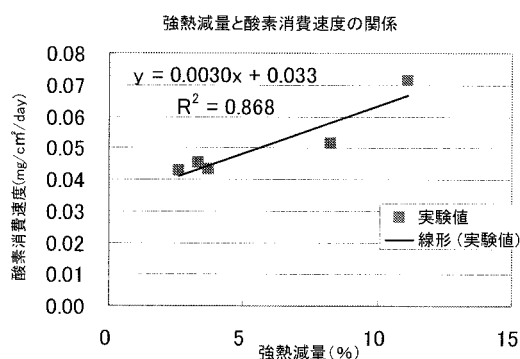


図 12 強熱減量と酸素消費速度の関係

5. 沈降物調査

(1) 調査方法⁵⁾

本研究における沈降物調査は、覆砂上への浮泥の再沈降が、底質にどのような影響を及ぼすかを調査する目的で行った。使用器具は 2L ポリ容器を 6 本使用したセジメントトラップである。セジメントトラップの概略図を以下の図 13 に示す。設置場所は横浜港みなとみらい地区における St. 2～St. 5 で、設置期間は 2007

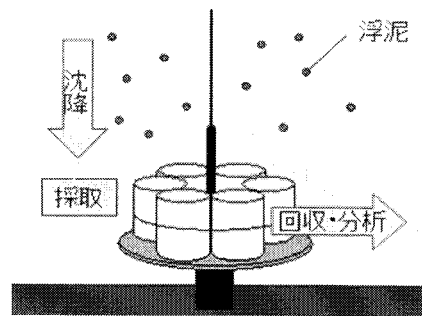


図 13 セジメントトラップ概略図

年 12 月 13 日～20 日までの 1 週間である。また、2006 年度の調査では、2006 年 8 月 28 日～9 月 4 日の 1 週間設置した。回収したセジメントトラップは、研究室に持ち帰った後丸一日以上静置し、浮泥を完全に沈降させた後、上澄み液と沈降物を分離し、沈降物重量、含水比、および強熱減量を測定した。なお、含水比は 110℃にて 24 時間、強熱減量は 600℃にて 3 時間以上加熱し測定した。

(2) 調査結果

表 3 に、横浜港みなとみらい地区における沈降物調査結果を示す。沈降物重量については、大岡川河口に最も近い St. 4 において最も数値が高くなっており、大岡川河口からの距離に比例して、沈降物重量が減少している。これより、覆砂上に再堆積する浮泥の多くは、海域から流入しているのではなく大岡川から流入していると推測される。

また St. 2 および St. 3 においては、2006 年 8 月にもセジメントトラップによる沈降物調査を行っており、その際に観測された沈降物重量と比較すると、2007 年 12 月の調査における数値は小さくなっている。これは、表 4 に示す現地調査時の透明度が、夏期では 2.3～2.8 m であるのに対し、冬季では 5 m 程度であること、また、夏期現地調査期間中の 2006 年 9 月 1 日に 18mm の降雨があり、大岡川の河川流量が変化していた影響によるものと推察される。

表 3 横浜港における沈降物調査結果

	SS量 (g)	一日当たりの沈降量 (mm/day)	強熱減量 (%)
St.2	16.30	0.03	12.6
St.3	12.16	0.02	14.2
St.4	21.41	0.03	13.7
St.5	14.13	0.02	13.8
St.2(06年)	55.25	0.09	
St.3(06年)	16.30	0.03	

表 4 現地調査時の透明度(単位: m)

2007年12月20日			2006年8月28日		
St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3
5	3.7以上	2.5以上	2.8	2.3	2.3

※2007年の St. 2 と St. 3 は、透明度板が着底。

また、2007 年度調査における強熱減量はかなり高い数値となっている。図 14 に東京港野鳥公園泥および横浜港泥における強熱減量の比較を示す。他の調査地点と比較しても、浮泥の強熱減量は高い数値を示しており、かなり汚染されていることが分かる。この汚染された浮泥が覆砂上に堆積していくものと考えられる。

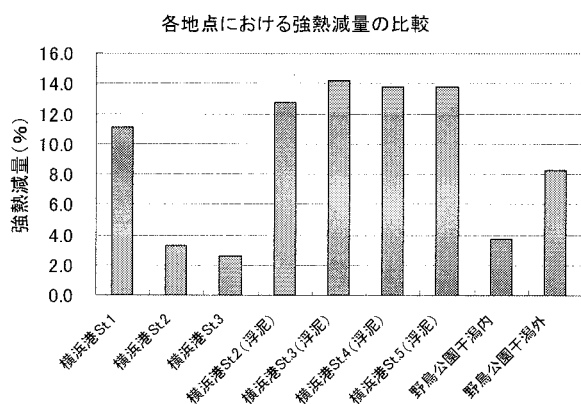


図 14 各調査地点における強熱減量の比較

6. まとめ

東京港野鳥公園および横浜港における現地調査および室内実験によって、以下のことが分かった。

現地調査において、夏に発生した貧酸素水塊が冬に解消されていることを確認した。

栄養塩溶出試験において、覆砂を行っている地点の栄養塩溶出速度が行っていない地点と比較して小さかったことから、覆砂の効果を確認した。

酸素消費試験において、覆砂を行っている地点の酸

素消費速度が行っていない地点と比較して小さかったことから、覆砂の効果が現れていることが確認できた。また、強熱減量と酸素消費速度の関係から、底質の汚染度と酸素消費速度に正の相関があることが分かった。

沈降物調査において、セジメントトラップにより採取された浮泥を分析した結果、浮泥の量は大岡川河口からの距離に比例して減少しており、浮泥の多くは大岡川から流入していると推測される。また、浮泥の強熱減量の数値は、底泥の数値よりも高く、浮泥の再沈降が、底質の状態に大きな影響を及ぼすものと思われる。覆砂の効果の持続性に影響を及ぼすことが予想される。

謝辞：本研究では、現地調査および室内試験を行うにあたって、いであ株式会社、大成建設株式会社ほか、多くの方々にご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局苅田港湾事務所 HP：
<http://www.kanda-port.go.jp/>.
- 2) 堀江毅・井上聡史・村上和男・細川恭史：三河湾での覆砂による底質浄化の環境に及ぼす効果の現地実験，土木学会論文集，No.533/Ⅱ-34，225-235，1996.
- 3) 信澤雄一郎：平成 16 年度 修士学位論文 東京湾における貧酸素水塊の挙動に関する研究，2005.
- 4) 小泉俊昌：平成 17 年度 修士学位論文 横浜港における底泥からの栄養塩の溶出に関する室内試験と数値計算，2006.
- 5) 小川大介：平成 18 年度 卒業論文 横浜港における底泥からの栄養塩溶出と覆砂による溶出削減効果の持続性，2007.